

한국에 생육하는 소나무아속의 화분형태학적 특성에 의한 종간 유사성

최태기

전북대학교 농과대학 산림과학부

Interspecific Similarity of the Subgenus *Diploxylon* in Korea Based on Pollen Morphological Characters

Tae-Kie Choi

Faculty of Forest Science, College of Agriculture and Life Science,
Chonbuk National University, Jeonju, 561-756, Korea

ABSTRACT

The present study has measured eight pollen morphological parameters of *Diploxylon* species in Korea by light microscopy (LM). The results are as follows;

1. *Diploxylon* species in Korea showed significant ($P < 0.01$) interspecific difference in their pollen morphological parameters.

2. The discriminant analysis based on the pollen morphological parameters demonstrated that the classification ratio of *Diploxylon* was 49.9%. The maximum was at *Pinus banksiana* (72.8%) and the minimum was at *P. sylvestris* (62.2%).

3. The relationship among the *Diploxylon* species based on their pollen morphological parameters showed that *P. densiflora* and *P. sylvestris* were had the closest relationship while *P. rigida* and *P. banksiana* had the least relationship.

Keywords : Pinus, Pollen, Relationship

서언

소나무아속(*Diploxylon*)은 전 세계적으로 북반구 온대, 한대지방에 약 100여 분류군이 분포하고 있으며, 우리나라에는 자생종 2종과 도입종 6종을 포함한 총 8 분류군이 우리나라 전역에 자라고 있다 (Harlow and Harrar, 1950; Lawrence, 1963; Mirov, 1967; 이창복, 1987; 김진수와 이석우, 1993; 한영창, 1993).

소나무아속의 수종들은 목재, 건축재, 펄프재, 정원수, 조경수, 최근 건강음료로 개발되는 등 용도가 다양하여 경제적으로 중요한 식물군으로 인식되고 있다 (윤영환, 1993; 이유철, 1993).

분류학적 측면에서 소나무아속은 분류체계에 있어서 학자들간의 의견이 일치하지 못하고 있는 실정이다 (Pilger, 1926; Duffield, 1952; Mirov, 1967; Rehder, 1974; Krussmann, 1983). 화분 형태는 식물분류에 있어서 그 중요성이 인식되어 이에 대한 연구

*교신저자 : E-mail : taekiechoi@hanmail.net

Table 1. Date and locality of sample collection of Diploxylon

Taxa	Date	Locality	Remarks
<i>Pinus densiflora</i> S. et Z. (소나무)	May 10, 1993	Boeun, Chungbuk	
	May 8, 1994	Changsu, Chonbuk	
	May 17, 1994	Naju, Chonnam	
	May 13, 1994	Kwangleung, Kyunggi	
	May 10, 1994	Anmyundo, Chungnam	
	May 12, 1995	Mt. Sorak, Kangwon	
	May 7, 1995	Mt. Toham Kyungbuk	
	May 7, 1994	Chinju, Kyungnam	
<i>P. thunbergii</i> Parl. (해송)	April 27, 1991	Cheju, Chejudo	
	May 10, 1993	Boeun, Chungbuk	
	May 10, 1992	Byunsan, Chonbuk	
	April 28, 1994	Naju, Chonnam	
	May 12, 1994	Kwangleung, Kyunggi	
	May 10, 1994	Anmyundo, Chungnam	
	May 13, 1995	Sokcho, Kangwon	
	May 7, 1994	Kyungju, Kyungbuk	
<i>P. rigida</i> Mill. (리기다소나무)	May 16, 1993	Chinju, Kyungnam	
	May 27, 1991	Seoguippo, Cheju	
	May 8, 1993	Cheongju Chungbuk	
	May 4, 1992	Chonju Chonbuk	
	April 28, 1994	Naju, Chonnam	
	May 12, 1994	Suwon, Kyunggi	
	May 10, 1994	Anmyundo, Chungnam	
	May 11, 1995	Chuncheon, Kangwon	
<i>P. banksiana</i> Lamb. (방크스소나무)	May 3, 1994	Kyungju, Kyungbuk	
	May 7, 1994	Chinhae, Kyungnam	
	May 27, 1991	Seoguippo, Chejudo	
	May 13, 1995	Chungju, Chungbuk	
	April 25, 1994	Chonju, Chonbuk	
	April 28, 1994	Naju, Chonnam	
	May 12, 1994	Suwon, Kyunggi	
	May 10, 1995	Anmyundo, Chungnam	
	May 11, 1995	Chuncheon, Kangwon	
	May 3, 1994	Kyungju, Kyungbuk	
	May 6, 1994	Chinhae, Kyungnam	
	April 17, 1991	Seoguippo, Chejudo	

(Continued)

Taxa	Date	Locality	Remarks
<i>Pinus virginiana</i> Mill. (버어지니아소나무)	May 13, 1995	Chungju, Chungbuk	
	May 4, 1994	Changsu, Chonbuk	
	May 28, 1994	Naju, Chonnam	
	May 12, 1994	Suwon, Kyunggi	
	May 10, 1994	Anmyundo, Chungnam	
	May 11, 1994	Chuncheon, Kangwon	
	May 3, 1994	Kyungju, Kyungbuk	
	May 7, 1994	Chinju, Kyungnam	
	April 28, 1991	Cheju, Chejudo	
<i>P. taeda</i> Linn. (테다소나무)	May 8, 1993	Cheongju, Chungbuk	
	May 4, 1994	Wanju, Chonbuk	
	April 28, 1994	Naju, Chonnam	
	May 12, 1994	Anyang, Kyunggi	
	May 10, 1994	Anmyundo, Chungnam	
	May 11, 1995	Chuncheon, Kangwon	
	May 3, 1994	Kyungju, Kyungbuk	
	May 6, 1994	Chinhae, Kyungnam	
	April 27, 1991	Seoguiippo, Cheju	
<i>P. rigitaeda</i> Linn. (리기테다소나무)	May 13, 1995	Cheongju Chungbuk	
	May 4, 1992	Chonju Chonbuk	
	April 28, 1994	Naju, Chonnam	
	May 12, 1994	Suwon, Kyunggi	
	May 10, 1994	Anmyundo, Chungnam	
	May 23, 1994	Chuncheon, Kangwon	
	May 3, 1994	Kyungju, Kyungbuk	
	May 7, 1994	Chinju, Kyungnam	
	May 27, 1991	Seoguiippo, Chejudo	
<i>P. Sylvestris</i> Linn. (구주적송)	May 13, 1995	Chungju, Chungbuk	
	May 4, 1994	Chonju, Chonbuk	
	April 27, 1994	Naju, Chonnam	
	May 28, 1994	Kwangleung, Kyunggi	
	May 12, 1994	Kongju, Chungnam	
	May 10, 1994	Chuncheon, Kangwon	
	May 3, 1994	Kyungju, Kyungbuk	
	May 7, 1994	Chinhae, Kyungnam	
	April 27, 1991	Seoguiippo, Chejudo	

가 광범위하게 계속되고 있다. Erdtmann(1954), 島倉(1973), Ueno(1978), Iwanami(1988)등이 소나무아속 화분형태와 표면무늬를 관찰하여 그 특징을 기재하였고, Van Campo-Duplan(1950)은 화분의 크기로 종 동정을 시도하였다. Faegri와 Iversen (1975)은 화분립의 크기와 표벽두께로 검색표를 작성하였고, Moore와 Webb(1978)은 화분형태와 발아구 특징을 기재하였다. 국내에서는 김계환과 이상태(1978), 이상태(1983), 김계환과 고대식(1981) 등은 한국산 소나무아속 일부 수종에 한하여 화분형태학적 특징을 보고하였고, 신창남(1982)은 소나무아속 6종 1변종에 대하여 환경적 요인에 따른 변이와 화분형태학적 특징을 기재하고, 화분검색표를 작성하였다. 장남기(1986)는 소나무아속 일부수종에 대하여 화분형태를 광학현미경으로 관찰하여 도감의 일부로 간행하였고, 소주엽 등(1994)은 소나무아속 5종에 대하여 광학현미경, 주사형전자현미경, 투과형전자현미경을 이용하여 형태적 특징에 따라 종을 기재하고, 화분검색표를 작성한 바 있다. 소나무아속 화분에 대하여 많은 연구자들에 의해 광학 현미경(LM), 주사형전자현미경(SEM) 및 투과형 전자현미경(TEM)에 의한 검경과 생태적요인등을 대상으로 화분검색표 작성과 일부 제한된 수종에 대하여 화분형태를 관찰하는 연구가 주를 이루어져 왔다. 그러나 한국에서 생육하고 있는 소나무아속의 전반적인 수종을 대상으로 화분형태학적 특징을 수량화하여 유연관계를 구명한 연구는 아직없다. 따라서 본 연구는 한국에서 생육하고 있는 소나무아속 8종의 화분립 형태학적 parameters를 측정하고 이를 수량화하여 소나무아속의 분류학적 기초자료를 제공하고자 시도하였다.

재료 및 방법

1. 재료

본 연구에 사용된 재료는 한국에 생육하고 있는 소나무 아속 8종의 화분을 전국 각지에서 채취하였으며, 각 분류군당 9개체씩, 총 72개체를 표본으로

사용하였다(Table 1).

2. 방법

1) 광학현미경(LM) 관찰

(1) 표본제작

채취된 화분은 Erdtman(1954) 방법에 대한 Livingstone의 변법으로 초산분해하여 glycerine jelly에 매몰시킨 후 영구표본을 제작하였으며, 사용된 초산 분해 과정은 다음과 같다.

① 초산분해 혼합액(acetic acid : sulfuric acid = 9 : 1)에 검경 재료를 침지한다.

② 재료가 든 원심분리관을 전기수욕조 안에 넣고 10분간 끓인 다음 수 분간 냉각 후 2,000~3,000 rpm으로 5분간 원심분리 시켜 상등액을 따라낸다.

③ 증류수를 부어 원심분리 시킨 후 상등액을 따라낸다.

④ 재료가 다시 증류수를 부어 잘 저은 후 고운 copper sieve (0.14mm²)로 여과시킨다.

⑤ 여과된 재료를 다시 증류수로 부은 다음

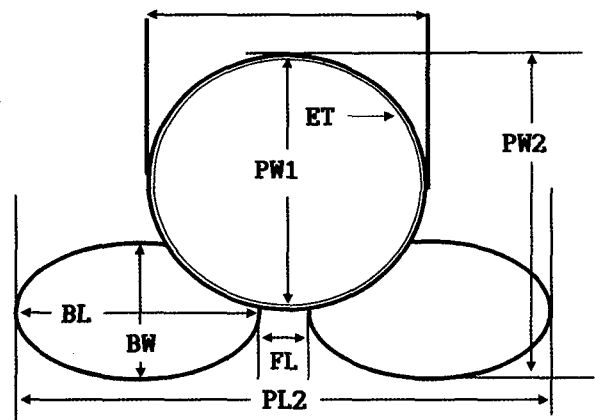


Fig. 1. Schematic representation of *Diploxylon* pollen grain indicating the position of the 8 parameters measured.

- Abbreviations : PL 1 = Pollen length
 PL 2 = Pollen length with air bladders
 PW 1 = Pollen width
 PW 2 = Pollen width with air bladders
 BL = Air bladders length
 BW = Air bladders width
 ET = Exine thickness
 FL = Furrow length

Table 2. Pollen size of Diploxylon in Korea

Taxa	Pollen body				Air bladders		FL	ET
	PL1	PL2	PW1	PW2	BL	BW		
<i>Pinus densiflora</i>	42.53±3.27	66.46±4.24	39.96±2.53	45.67±2.82	36.80±3.03	30.17±1.85	14.95±1.66	2.70±0.35
<i>P. thunbergii</i>	43.18±2.79	66.56±3.40	41.22±2.79	46.30±2.92	37.76±2.70	31.53±2.31	14.37±1.59	2.88±0.31
<i>P. rigida</i>	52.83±4.28	81.44±6.18	47.83±3.89	54.18±3.82	45.18±4.52	35.29±3.32	14.26±1.82	2.97±0.40
<i>P. banksiana</i>	40.49±4.54	63.45±6.19	37.59±4.02	43.23±3.98	35.07±3.65	28.44±2.91	13.11±1.66	2.75±0.36
<i>P. taeda</i>	48.60±3.25	78.24±4.89	44.26±2.69	51.05±2.68	40.86±3.33	32.30±2.27	14.60±1.76	2.91±0.29
<i>P. rigitaeda</i>	51.31±5.99	76.29±4.88	45.87±4.41	52.13±4.23	41.59±3.70	31.86±2.22	14.29±1.97	2.87±0.32
<i>P. virginiana</i>	46.45±3.06	71.64±4.26	42.12±3.69	48.93±3.91	39.90±3.17	31.06±2.28	14.53±1.61	2.96±0.45
<i>P. sylvestris</i>	43.56±3.14	67.95±4.49	41.12±2.94	46.66±3.02	37.69±2.78	31.24±2.94	14.65±1.86	2.79±0.32

Abbreviations ; PL1 = Pollen length, PL2 = Pollen length with air bladders,
 PW1 = Pollen width, PW2 = Pollen width with air bladders
 BL = Air bladders length, BW = Air bladders width
 FL = Furrow length, ET = Exine thickness

2,000~3,000 rpm으로 10분간 원심분리 시켜 상등액을 따라낸다.

⑥ Glycerine과 증류수(1 : 1)의 혼합액을 넣어 저온 다음 2,000~3,000 rpm으로 10분간 원심분리 시켜 상등액을 따라낸다.

⑦ 원심분리관을 1시간 이상 거꾸로 세워 놓은 다음 안에 묻어 있는 화분을 긁어 모아 glycerine jelly에 매몰한다.

(2) 검경

제작된 영구표본은 광학현미경(Olympus BH)을 사용하여 검경하였다.

(3) 측정

각 분류군당 8개체(72개체), 개체당 화분 20립씩, 총 1,440립을 대상으로 화분립의 전체길이와 폭, 화분립 몸체의 길이와 폭, 기낭의 길이와 폭, 발아구 길이, 표벽두께 등을 측정하였다(Fig. 1).

2) 통계 분석

통계처리는 SAS Version 6.04(SAS Institute, Cary, NC)를 이용하여 분산분석(ANOVA), Pearson 상관관계수, Mahalanobis distance, 판별분석(discriminant analysis), 군집분석(cluster analysis)을 실시하였다.

3) 용어

본 연구 화분 형태 기재에 대한 용어로 원어는 Erdtman(1952), Faegri와 Iversen(1975), Ueno(1978), 국문용어는 이(1978)에 따랐다.

결과 및 고찰

1. 화분형태학적 parameters

소나무속 화분 형태의 측정은 기낭을 포함한 화분립의 전체 길이와 폭, 화분립몸체의 길이와 폭, 기낭의 길이와 폭, 발아구 길이, 표벽두께 등을 대상으로 하였으며 이들을 관찰 결과는 Table 2와 같다.

1) 화분립의 크기

(1) 기낭을 포함한 전체 화분립의 크기

본 연구 결과 소나무속의 기낭을 포함한 화분립 전체 크기는 소나무아속은 63.45~78.24 × 43.23~54.18 μm의 범위를 보였는데, 소나무아속에서 길이가 가장 큰 것은 리기다소나무로 81.44 μm이었고, 63.45 μm로 방크스소나무가 가장 작았다. 폭은 리기다소나무가 54.18 μm로 가장 컸으며, 43.23 μm로 방크스소나무가 가장 작게 나타났는데, Cain(1940)은

41.0~78 × 28~56 μm, 김과 고(1981) 74.24~105.24 × 48.36~73.26 μm, 소 등(1994)은 39.14~41.13 μm × 76.76~84.86 μm, 김계환 등(1995)은 82.8~93.9 × 63.9~74.6 μm로 보고하여 본 연구 결과와 약간의 차이가 있었다.

본 연구에서 타 연구 보고와 화분립의 크기에 있어서 서로 다른 차이를 보인 것은 Kurtz와 Liverman(1958), Bell(1959), Clausen(1962), McNeil과 Crompton(1978), Ornduff(1978)의 보고한 바와 같이 생육환경의 차이, 조사한 수종의 차이, Sample의 채집범위 등에 기인한 것으로 보인다.

(2) 화분립 몸체의 크기

소나무아속 화분립 몸체의 길이와 폭은 40.49~52.83 × 37.59~47.83 μm의 크기 범위를 보였다. 52.83 μm 로 리기다소나무가 가장 컸고, 40.49 μm 로 방크스소나무가 가장 작았다. 소나무아속에서는 리기다소나무, 리기테다소나무, 테다소나무, 버지니아소나무, 구주소나무, 해송, 소나무, 방크스소나무 순이었다. 폭은 47.83 μm로 리기다 소나무가 가장 컸고, 37.59 μm로 방크스소나무가 가장 작았다.

Cain(1940)은 45~73 × 31~50 μm, Ikuse(1956)는 43~49 × 47~53 μm, Van Campo(1971)는 48 × 56 μm, 島倉(1973)은 40~50 × 45~52 μm, 김과 이(1978)는 38.32~41.12 × 51.40~53.40 μm, Ueno (1978) 48 × 36 μm, 장(1979)은 38~50 × 40~60 μm, 이(1979)는 55~70 × 33~40 μm, 김과 고(1981)는 41.12~72.94 × 40.25~57.74 μm , 신 (1982)은 38.84~64.46 × 50.0~64.53 μm , 이 (1983)는 61.63~72.62 × 48.39~61.44 μm, 소 등(1994)은 39.14~41.13 × 54.31~60.60 μm, 김 등(1995)은 62.1~68.4 × 53.3~60.1 μm 이었다고 보고하였다. 한편 Cain(1940)은 소나무아속 중 가운데 리기다소나무의 화분이 가장 크고, 방크스소나무의 화분이 가장 작다고 보고 하였는데, 본 연구 결과와 유사하였으나 약간의 차이가 있었던 것은 수종의 차이와 Bell(1959), Ornduff(1978) 등이 주장하는바와 같이 생육환경에 따른 원인이 아닌가 생각된다.

(3) 기낭의 크기

소 나무 아 속 은 길 이 35.07~45.18 μm , 폭

28.44~35.29 μm의 범위를 보였다. 길이는 리기다소나무가 45.18 μm로 가장 크고, 35.07 μm로 방크스소나무가 가장 작게 나타났고, 리기다소나무, 리기테다, 테다소나무, 버지니아소나무, 해송, 구주소나무, 소나무, 방크스소나무 순이었다. 폭은 리기다소나무가 35.29 μm로 가장 크고, 방크스소나무가 28.44 μm로 가장 작았으며, 리기다소나무, 테다소나무, 리기테다소나무, 해송, 구주소나무, 버지니아소나무, 소나무, 방크스소나무 순이었다. Cain(1940)은 30~50 × 17~56 μm, Ikuse(1956)는 39~43 × 30 μm, Ueno(1978)는 28~30 × 30~42 μm, 김과 이(1978)는 30.40~36.08 × 33.21~34.73 μm, 김과 고(1981)는 33.21~56.63 × 30.44~49.17 μm , 신 (1982)은 28.92~36.98 × 34.14~43.14 μm , 이 (1983)는 45, 50~62.22 × 36.42~48.37 μm, 소 등(1994)은 36.88~39.81 × 30.21~34.17 μm 이라고 보고하여 본 연구 결과와 다소의 차이를 보였다. 소나무아속의 기낭 폭은 몸체의 길이 보다 짧다고 보고한 내용(Erdtman, 1952)과 본 연구 결과도 몸체의 길이가 기낭의 폭보다 길게 나타나 일치하였다. 그러나 본 연구에서는 기낭의 크기에 있어서 측정치의 중복으로 종의 동정에는 무리가 있는 것으로 생각된다.

(4) 발아구 길이

소나무 아속은 14.95 μm로 소나무가 가장 컸고, 작은 것은 방크스소나무로 13.11 μm이었다. 크기는 소나무, 구주소나무, 테다소나무, 버지니아소나무, 해송, 리기테다소나무 리기다소나무, 방크스소나무 순이었다. 신(1982)은 발아구 길이가 12.09~15.43 μm, 이(1983)는 8~14 μm로 보고 하였던 바 약간의 차이가 있었는데 이것은 광학 현미경의 관찰로 인한 발아구 한계의 불명확성 때문이 아닌가 생각된다.

(5) 표벽 두께

소나무아속은 1.86~3.91 μm의 범위를 보였다. 리기다소나무가 2.97 μm로 가장 두껍고, 소나무가 2.70 μm로 가장 얇았다. 신(1982)은 표벽두께에서 종에 따라 두께의 차이를 인정하였으나, 이(1978, 1983)는 관측치의 중복으로 인하여 종이나 아속 분류에 있어서 큰 의미가 없다고 하였다. 본 연구에서도 표벽 두께에 있어서 각 종마다 관측치가 중복이 많아 종 구

Table 3. Analysis of variance of 8 pollen parameters of the subgenus Diploxylon

Pollen parameters	Source	df	SS	MS	F-value
PL1	Species	7	23495.1	3915.9	241.87**
	Error	1332	20285.8	16.1	
	Total	1339	43780.9		
PL2	Species	7	50383.0	8397.2	341.62**
	Error	1332	30799.5	24.6	
	Total	1339	81182.5		
PW1	Species	7	13490.5	2248.4	183.71**
	Error	1332	15335.6	12.2	
	Total	1339	28826		
PW2	Species	7	16571.2	2761.9	221.29**
	Error	1332	15638.2	12.48	
	Total	1399	32209.5		
BL	Species	7	12335.2	2055.9	169.21**
	Error	1332	15224.0	12.2	
	Total	1339	27559.2		
BW	Species	7	4761.4	793.6	127.56**
	Error	1332	7795.0	6.2	
	Total	1339	12556.4		
FL	Species	7	357.2	59.5	19.88**
	Error	1332	3751.6	3.0	
	Total	1339	4108.8		
ET	Species	7	11.4	1.8914.57**	
	Error	1332	163.0	0.1	
	Total	1339	174.4		

Note ; See table 2 for abbreviations

** = All statistical data in this study were tested at probability level of 99% ($\alpha=0.01$)

분에 도움이 되지 못하였다.

2. 화분 parameters간 Anova(Analysis of variation)

분석

본 연구 결과 조사된 화분 parameters별로 분산분석을 실시한 결과 소나무아속(Table 3)에서 모두 1% 수준에서 준에서 고도의 유의성을 보였다. 본 속의 화분 형태에 관한 연구에서 F-Test 결과 수종간 모든 형질에서 1% 수준에서 유의성이 있다고 하였으며 (신 1982), Manova 분석 결과 수종간의 차이가 없다

는 가설이 1% 수준에서 기각된다는 보고(김 등 1995)와 일치하였다.

3. 화분 형태 parameters에 의한 상관관계

측정된 소나무아속 화분의 parameters간에 Pearson 상관계수를 조사한 결과는 Table 4와 같다. 기낭을 포함한 화분립의 전체 폭과 화분의 몸체 폭이 0.92539($P<0.00$)로서 가장 상관이 높게 나타났으며, 화분의 몸체 길이와 기낭을 포함한 화분립의 전체 폭도 0.82321($P<0.0001$)로, 화분의 몸체 길이와 폭

Table 4. Pearson correlation coefficient (R) between eight pollen parameters of the subgenus Diploxylon

	PL1	PL2	PW1	PW2	BL	BW	FL	ET
PL1	1.00							
P>R	0.00							
PL2	0.76042	1.00						
P>R	0.0001	0.00						
PW1	0.82071	0.67999	1.00					
P>R	0.0001	0.0001	0.00					
PW2	0.82321	0.73343	0.92539	1.00				
P>R	0.00	0.0001	0.00	0.00				
BL	0.56125	0.62854	0.63630	0.65250	1.00			
P>R	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.00			
BW	0.51812	0.60096	0.54023	0.56345	0.58030	1.00		
P>R	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.00		
FL	0.13789	0.15272	0.19318	0.20340	0.10675	0.07427	1.00	
P>R	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.00	
ET	0.18336	0.17537	0.19521	0.19910	0.18528	0.16300	0.00873	1.00
P>R	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.00

Note ; See table 2 for abbreviations

간에도 0.82071(P<0.0001)로 밀접한 상관관계를 보였다. 화분의 전체 길이와 폭, 화분 몸체의 길이와 폭 등 parameters 상호간에 상관계수가 약 0.70 (P<0.0001) 이상으로 매우 밀접한 상관을 보였다. 기낭의 길이와 폭은 화분립의 전체 길이와 폭, 화분 몸체의 길이와 폭 등과 높은 상관을 보였다.

4. 종간 유연관계

1) Mahalanobis distance

소나무아속^a 8개 수종의 화분 parameters에 대하여 유사성 정도를 나타내주는 Mahalanobis distance (Table 5)를 토대로 하여 화분 형태학적 유연관계를 dendrogram으로 작성할 수 있었다. 이에 의하면 소나무와 구주소나무가 0.2820으로 가장 근연으로 나타났고, 해송도 0.3407로 이 두수종과 가깝게 나타났

다. 그러나 방크스소나무와 리기다소나무는 21.3494로 가장 거리가 먼 것으로 나타났다. 한편 Mahalanobis distance를 토대로 하여 Average linkage 방법으로 dendrogram을 작성하였는데 그 결과 크게 2개 그룹으로 군집이 형성되었다(Fig. 2). 소나무와 구주소나무가 가장 밀접하게 한 그룹을 형성하고, 방크스소나무, 버지니아소나무가 가깝게 묶여 다른 그룹을 이루었다. 다른 한 그룹은 리기테다소나무, 테다소나무, 리기다소나무가 한 그룹을 이루었다. 리기테다소나무는 리기다소나무와 테다소나무의 잡종으로서, 리기다소나무와 테다소나무의 중간형으로 나타난 것이 주목할 만하다.

신(1982)은 소나무아속 7종 1변종에 대하여 화분의 형태와 크기로 이들의 유연관계를 조사하였는데, Laricones절에 소나무, 반송, 해송, Bungeanea절에 백

Table 5. Squared Mahalanobis distance between 8 species of *Diploxylon* based on 8 pollen parameters

	DEN	THU	RIG	BAN	RIT	TAE	VIR	SYS
DEN	0							
THU	0.8371	0						
RIG	15.4167	13.1841	0					
BAN	1.7881	2.6064	21.3494	0				
RIT	7.8765	7.3547	2.7190	11.5384	0			
TAE	7.2049	7.0469	3.0500	11.1893	1.3873	0		
VIR	2.8217	2.7985	6.8043	5.2287	2.2024	2.0539	0	
SYS	0.2820	0.3407	12.3257	2.6725	6.2658	5.7174	1.9250	0

Abbreviations : DEN = *Pinus densiflora*, THU = *P. thunbergii*
 RIG = *P. rigida*, BAN = *P. banksiana*
 RIT = *P. rigiraeda*, TAE = *P. taeda*
 VIR = *P. virginiana*, SYS = *P. sylvestris*

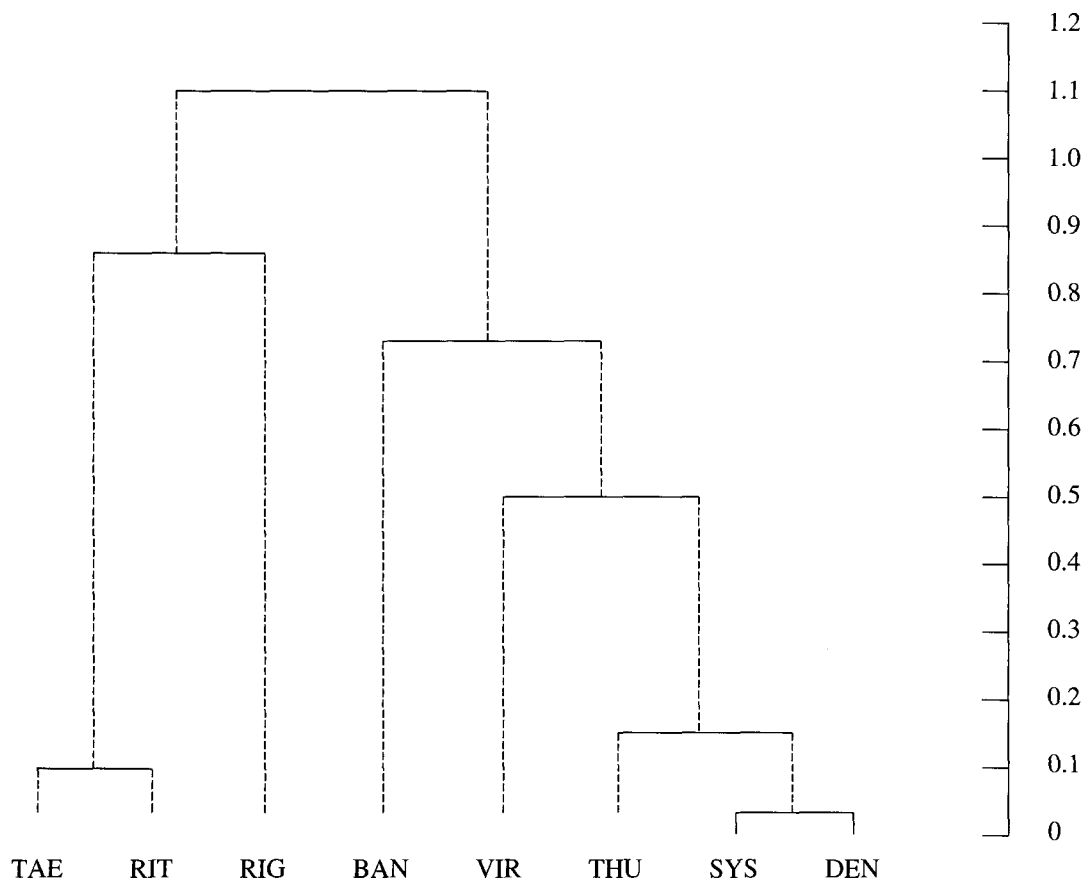


Fig. 2. Average linkage cluster analysis dendrogram presenting the relationship among 8 species of *Diploxylon* based on eight pollen morphological traits.

Table 6. Classification of species on the basis of pollen parameters measured (discriminant analysis of PL1 PL2, PW1, PW2, BL, BW, FL, ET)

	DEN	THU	RIG	BAN	RIT	TAE	VIR	SYS	Total(%)
DEN									
No. of grain	80	17	0	27	1	3	21	31	180
% of total	44.4	9.4	0.0	15.0	0.6	1.7	11.7	17.3	100
THU									
No. of grain	18	94	2	29	0	5	8	24	180
% of total	10.0	52.2	1.1	16.1	0.0	2.8	4.4	13.3	100
RIG									
No. of grain	0	3	111	0	31	27	7	1	180
% of total	0.0	1.7	61.7	0.0	17.2	15.0	3.9	0.6	100
BAN									
No. of grain	14	21	0	113	4	5	16	7	180
% of total	8.9	11.7	0.0	62.8	2.2	2.8	8.9	3.9	100
RIT									
No. of grain	0	8	20	2	81	34	32	3	180
% of total	0.0	4.4	11.1	1.1	45.0	18.9	17.8	1.7	100
TAE									
No. of grain	3	1	17	0	29	97	27	6	180
% of total	1.7	0.6	9.44	0.00	16.11	53.89	15.00	3.33	100
VIR									
No. of grain	8	22	7	5	14	19	87	18	180
% of total	4.44	12.22	3.9	2.8	7.8	10.6	48.3	10.0	100
SYS									
No. of grain	48	29	0	16	1	7	24	55	180
% of total	26.7	16.1	0.0	8.9	0.6	3.9	13.3	30.6	100
Total	171	195	157	192	161	197	222	145	1,440
(%)	11.9	13.5	10.9	13.3	11.2	13.7	15.4	10.1	100

Note ; See Table for 5

송, *Australes*절에 테다소나무, 리기다소나무, 리기테다소나무, 그리고 *Banksiana*절에 방크스소나무를 포함시켰다. 그러나 백송을 소나무아속으로 처리한 것은 본 연구 결과와 다르고, 공시재료에서 일부 차이는 있었지만 본 연구 결과와 유사하였다. 이(1967)는 소나무아속 12종에 대해 수지구의 위치와 형태로 2엽성과 3엽성으로 구분할 수 있다고 보고하였다. 김과 이(1993)는 소나무와 해송의 동위효소 분석에 의해서 유전적 구조를 조사하여 유전 변이량이 크다고 하였는데, 이 원인은 화분 비산으로 인하여 수종간, 집단간 유전자 교환이 용이한 수종이나 타가수정에 의한 수종에서 흔히 공통적으로 볼 수 있는 현상이

라고 하였다. 그리고 소나무와 해송 2수종간에 자연 잡종이 많이 발생하고 있다는 보고(이, 1967; 安과 勝田, 1968; Shibata, 1970; 안, 1972; 손 등, 1990)와 해송 집단과 인접한 소나무 집단에서 해송의 인자가 혼입되어 있다는 보고들로 미루어 보아 소나무와 해송의 유연관계가 가깝게 나타난 것은 이러한 원인과 밀접한 관계가 있을 것이라고 생각된다. 리기테다소나무와 테다소나무, 리기다소나무에 관한 보고에서 신(1982)은 화분의 형태와 크기로 볼 때, 리기테다소나무는 리기다소나무에 가깝다고 하여 본 연구와 차이를 보이고 있다. 홍 등(1987), 류와 나(1994)는 테다소나무가 리기테다소나무의 화분 모수로서 중요

하며, 안(1977)은 인공잡종인 리기테다소나무는 생장비교나 생태형으로 화분 모수인 테다소나무의 영향을 많이 받는다고 보고하여 본 연구와 일치하였다. 본 연구 결과를 기존의 분류체계와 비교하여 보면 Pilger(1926), Duffield(1952), Krussman(1983)의 분류체계와 일치하였지만 다른 요인에 의한 지속적인 연구를 수행함이 타당하다고 생각된다.

5. 분류학적 의의

화분의 분류학적 의의를 검토하기 위하여 측정된 화분립의 parameters를 기초로 하여 각 수종에 대하여 각각의 실험적 단위(화분립)를 분류하는 판별분석을 실시하였다. 먼저 Anova를 통하여 각 parameter 별로 판별에 이용될 수 있는 기여도를 볼 때, 8개 parameter 모두 1%수준에서 고도의 유의성을 갖고 있어 기여도가 모두 높게 나타났다.

소나무아속 8 수종에 대하여 판별분석을 실시하여 분류율을 측정된 결과 그 내용은 Table 6에 요약되어 있다. 소나무아속 8수종 중 분류율은 방크스소나무가 화분립 180립중 113립이 방크스소나무로 분류되어 (62.8 %) 가장 높게 나타났으며, 구주소나무는 30.6 % (55립)로서 분류율이 가장 낮게 나타났다.

본 연구에서 잣나무아속의 평균 분류율은 68.8 %, 소나무아속은 49.9 %로 잣나무아속의 분류율이 소나무아속에 비해 분류율이 높았음을 알 수 있었다. 김과 이(1993)는 광범위하게 분포되어 있는 소나무아속은 제한적인 분포를 하고 있는 잣나무아속에 비해 유전 변이량이 크다고 보고하였는데 이것은 소나무아속 수종이 잣나무아속 수종에 보다 넓은 분포지역을 가지고 있어 화분 비산에 의한 유전자 교환이 비교적 많이 일어나지 않았나 생각된다.

이와 박(1980)은 물오리나무와 사방오리나무 화분의 형태학적 연구에서 전체 83 %가 화분에 의해 식별할 수 있다고 하였고, 김 등 (1989)은 버드나무 4종에 대하여 화분 형태에 의한 분류율은 수종에 따라 차이가 있으나 평균 77.2 %라고 보고하여 본 연구와 차이가 있었는데, 이 원인은 조사된 수종의 차이에 의한 것이 아닌가 생각된다. 또한 김계환 등 (1995)은 소나무속의 분류율은 30.3 %였다고 보고하

여 본 연구보다 약간 차이가 있었고 위에서 언급한 다른 수종에 대한 보고에 비하여 소나무속의 분류율이 대체로 낮게 나타났다. 이 원인은 분포지역이 넓은 수종간에는 교잡이 왕성하다는 보고(안, 1988; 김과 이, 1993; 임, 1993)와 관련지어 생각할 때 교잡에 의한 유전자 이입 현상에 기인한 것이 아닌가 생각된다.

적요

한국에 생육하고 있는 소나무아속 8종의 화분을 광학현미경 관찰로 화분립의 8가지 parameters를 측정하고 이를 수량화하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 소나무아속 화분 형태학적 parameters간 분산분석을 실시한 결과 1 % 수준에서 고도의 유의성이 인정되었다.
2. 화분 형태의 parameters를 토대로 판별분석을 실시한 결과 소나무아속 분류율은 평균 분류율은 49.9 %로 나타났으며, 최고치는 방크스소나무로 62.8 %, 최소치는 구주소나무로 30.6 % 이었다.
3. 소나무아속 화분형태학적 parameters에 의한 유사도를 조사한 결과 소나무와 구주소나무가 가장 유사하였고, 리기다소나무와 방크스소나무의 유사도가 가장 먼 것으로 나타났다.

인용문헌

Bell, C. R. 1959. Mineral nutrition and flower to flower pollen size variation. *American Journal of Botany* 46(9) : 621-624.

Cain, S. A. 1940. The identification of species in fossil pollen of *Pinus* by size -Frequency determination-. *American Journal of Botany* 27 : 301-308.

Clausen, K. E. 1962. Size variation: pollen of three taxa of *Betula* (I). *Pollen et Spores* 4 : 169-174.

Duffield, J. W. 1952. Relationships and species

- hybridization in the Genus *Pinus* Ztschr. Forestgenetik Forestpflanzenzuchtung 1 : 93-97.
- Erdtman, G. 1952. An Introduction to pollen analysis. Chronica Botanica Co. Wantham U.S.A. pp. 26~54.
- Faegri, K. and J. Iversen. 1975. Textbook of pollen analysis. Munksgard. Copenhagen. pp. 16~78.
- Harlow, W. M. and E. S. Harrar. 1950. Textbook of dendrology. McGraw-Hill book Company Inc New York. pp. 48~123.
- Ikuse, M. 1956. Pollen grains of Japan. Hirokawa Publishing Co. Tokyo. pp. 1~135.
- Iwanami, Y., T. Sasakuma and Y. Yamada. 1988. Pollen: Illustrations and scanning electronicgraphs. Kodansha. Tokyo. pp. 10~56.
- Krusmann, G. 1983. Manual of cultivated conifers. Timber Press. Portland Oregon. pp. 207~248.
- Kurtz E. B. and J. Liverman 1958. Effects of temperature on pollen characters. Bull. Torrey Bot. Club 85 : 136~138.
- Lawrence, G. H. M. 1963. Taxonomy of vascular plants. MacMillan Publ. Co. New York. pp. 364~366.
- McNeil, J. and C. W. Crompton. 1978. Pollen dimorphism in *silene alba* (Caryophyllaceae). Can. Jour. Bot. 56 : 1280~1286.
- Mirov, N. T. 1967. The Genus *Pinus*. New York. Ronald Press.
- Moore. P. D. and J. A. Webb. 1978 An illustrated guide to pollen analysis. Horder and stougtion London. pp. 70.
- Ornduff, R. 1978. Features of pollen flow in dimorphic species of *Lythum* Section Euhyssopifolia. Amer. Jour. Bot. 65(10) : 1077~1083.
- Pilger, E. 1926. Pinaceae. In; Engler, A., K. Plantl (Eds.). Die naturichen pflanfamilien. 2nd. edt. vol. 13. Leipzig, Engelmann. pp. 271~341.
- Rehder, A. 1974. Manual of cultivated trees and shrubs. McMillan Co. New York. pp. 34~47.
- Shaw, G. R. 1914. The genus *Pinus*. Arnold Arboretum Pub. No. 5.
- Shibata, M. 1970. Differences of fertility by combining crosses in Japanese pines. Journal of Japanese Forestry Society. 52(6) : 178~185.
- Ueno, J. 1978. Study of palynology. Kazama Shobo Publishing Co. Tokyo. pp. 253.
- Van Campo-Duplan, M. 1950. Pollen et phylogenie chez les coniferes pollen morphology and plant taxonomy. Palynological conference. pp. 877~878.
- Van Campo-Duplan, M. 1971. Precisions nouvelles surles structures comparees de pollen des gymnosperms et d' angiosperms. C. R. Acad. Sc. Paris 272 : 2071~2074.
- 김계환, F. A. Aravanopoulos, L. Zsuffa. 1995. 화분 형태와 동위효소에 의한 소나무속 동정. 전북대학교 농대 논문집 26 : 1-16.
- 김계환, 고대식, L. Zsuffa. 1989. 한스뮐러 버드나무속 화분의 형태적 연구. 한국임학회지 78(1) : 35-41.
- 김계환, 고대식. 1981. 한국 주요 구과목 화분의 형태학적 연구. 전북대학교 농대 논문집 12 : 58-68.
- 김계환, 이상태. 1978. 한국의 주요 나자식물 화분의 형태학적 연구. 한국임학회지 40 : 35-42.
- 김진수, 이석우. 1993. 한국산 소나무 주요 수종의 유전변이. 소나무와 우리 문화. 숲과 우리문화 연구회. pp. 91-98.
- 류장발, 나천수. 1987. 동위효소에 의한 테다소나무 클론의 식별. 한국임학회지 76(4) : 330-337.
- 소주엽, 태경환, 고성철, 소용영. 1994. 한국산 나자식물 화분의 비교 형태. 식물분류학회지 37(2) : 203-221.
- 손두식, 권용철, 박상준. 1990. 곰솔과 소나무의 자연잡종으로 추정되는 잡종 소나무의 특성. 한국임학회지 79(2) : 127-137.
- 신창남. 1982. 한국산 소나무속의 화분학적 연구. 중앙대학교 박사학위 청구논문.
- 안건용. 1972. 1대 잡종송의 교배 친화력과 특성에 관한 연구. 한국임학회지 16 : 1-32.
- 안건용. 1977. 테다·리기다송 및 테다 흑송 교잡종의 특성에 관한 연구. 서울대학교 농학연구지 2(1)

- : 471-482.
- 안건용. 1988. 제주도 천연 적송림분의 잡종성. 서울 대학교 농학연구지 13(1): 15-20.
- 윤영환. 1993. 전통 조경수로서의 소나무의 이용과 배식. 소나무와 우리 문화. 숲과 우리문화 연구회. pp. 185-189.
- 이강녕. 1967. 소나무류 침엽 수지구수에 관한 고찰. 진주농대연구논문집 6: 1-4.
- 이상태, 박은자. 1980. 물오리나무와 사방오리나무 화분의 형태적 변이. 식물분류학회지 10(1,2): 35-41.
- 이상태. 1978. 화분형태의 계통학적 의의. 식물분류학회지 8(1, 2): 59-68.
- 이상태. 1983. 한국산 나자식물에 대한 계통분류학적 연구 - 소나무속의 화분학 -. 전북대학교 생물학 연구보고 4: 145-156.
- 이연희. 1979. 한국식물의 화분에 관한 연구. 식물분류학회지. 9(1,2): 7-25.
- 이유철. 1993. 소나무의 변지수(The Systematic Position of *Pinus densiflora*). 소나무와 우리 문화. 숲과 우리 문화연구회. pp. 110-115.
- 이창복. 1987. 신고 수목학. 향문사. 서울. pp. 74-83.
- 임경빈. 1993. 소나무 고(考). 소나무와 우리 문화. 숲과 우리문화 연구회. pp. 141-147.
- 장남기. 1986. 한국동식물도감 제29권 식물편(화분류) 문교부. pp. 97
- 한영창. 1993. 우리나라 소나무 선발육종의 과거와 현재. 소나무와 우리문화. 숲과 우리문화 연구회. pp 80-83.
- 홍성천, 변수현, 김삼식. 1987. 원색수목도감. 계명사. pp 4-9.
- 安建鏞, 勝田 柁. 1968. クロマツと アカマシの 雜種の 葉の 樹脂導の 位置. 日本林學會誌 50(4): 117-119.
- 島倉己三郎. 1973. 日本 植物の 花粉 形態. 大阪市立 自然科學 博物館 收藏資料目錄 第 5集. pp. 1-66.
- (접수일 2004. 3. 16)
(수락일 2004. 5. 31)